Ciencias

I--El trabajo del corazón y la presión arterial media. II--De cómo el trabajo del corazón aumenta con las alturas.

La ponderosa e inquietante conclusión a que ha llegado el doctor Gnecco Mozo, en su memoria sobre la igualdad del trabajo del corazón en el nivel del mar y en las alturas, nos trae, desde la cátedra de Física Médica, a exponer tímidamente algunas ideas, sobre este apasionante problema de hemodinámica.

Los fenómenos fisiológicos son función de muchas variables, pero no por esto, dejan de ser reducibles al mundo real. Las ciencias físicas que han aclarado los complicadísimos y antes misteriosos mundos de los átomos, de la materia y de la energía, nos enseñan, que la célula, gránulo de vida, se gobierna por las mismas leyes que incrementan, movilizan, transforman y organizan a los seres innanimados, entre los dos valores infinitos del espacio y del tiempo.

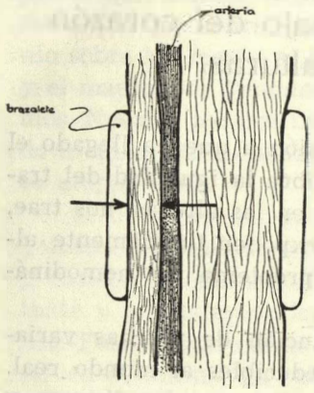
Queremos ensayar la demostración de que el trabajo del corazón aumenta con las alturas. Para esto debemos demostrar qué se entiende por presión y tensión medias, cuál es su significado y cómo se pueden medir por procedimientos físicos. Establecido el concepto concreto de presión arterial media, trataremos de aplicar al movimiento de las arterias, los principios conocidos de los cuerpos vibrantes, para llegar a la expresión que nos da a conocer el trabajo de las arterias y del corazón. En este recorrido tendremos que despojarnos de toda influencia de opiniones científicas, sin otro criterio que la lógica, y sin otro apoyo que la experimentación.

Se entiende en clínica por *tensión arterial media,* la columna de mercurio del manómetro que equilibra la presión de la arteria, cuando ésta vibra al máximun.

Los oscilómetros son aparatos manométricos que indican el máximun de vibración de la arteria, por el movimiento de una aguja, y los manómetros de mercurio, llamados esfigmomanómetros, como su nombre lo indica, por una mayor o menor estrangulación de la arteria miden la presión de ésta. Ambos tipos de instrumentos, especialmente los primeros, acusan una oscilación máxima, cuando se gradúan a la presión media de la arteria.

Archivo Histórico Rosario

Para facilidad de los médicos, en los primeros tipos de aparatos, los pequeños movimientos de una caja aneroide se multiplican por un juego de palancas. Aumentando o disminuyendo cuidadosamente la presión, se llega al punto de la oscilación máxima. En este momento, la tensión de la arteria es exactamente igual a la tensión clínica media, porque la pared del vaso queda sometida a dos presiones iguales y contrarias que se anulan, y por lo tanto, la pared de la arteria puede batir al máximun, como si estuviera en el vacío (Véase plancha número 1).



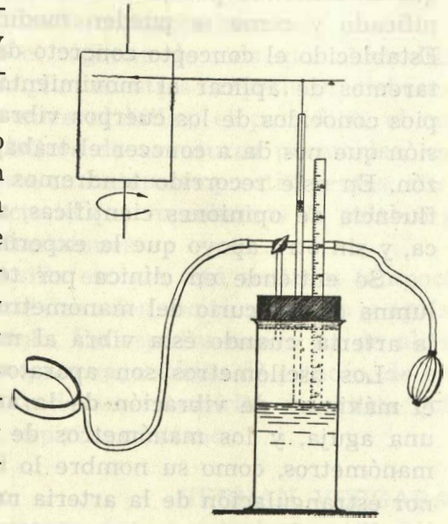
Esquema de las presiones del brazalete y la arteria

Plancha número 1

Vamos a demostrar que la presión correspondiente a la tensión media clínica, es exactamente igual a la presión media física.

Nos hemos servido de un manómetro de Kretz, para poder reducir a un mínimun la inercia del aparato y obtener curvas bien amplias correspondientes a las presiones máxima y mínima. (Véase plancha número 2).

Se compone: de un vaso de mercurio provisto de un tapón robusto, el cual está atravezado por un tubo de diámetro menor que comunica con el mercurio; en este tubo hay un flotador provisto de un vástago ligero, articulado en la parte superior a una palanca de movimiento. Un tubo y una llave de tres vías, pone en comunicación el brazalete con una pera de caucho, que comprime a voluntad el aire en todo el sistema.



Manómetro de Kretz

Plancha número 2

La columna de mercurio del tubo, como en los esfigmomanómetros, marca, por sus ascensos o descensos, las variaciones de volumen del frasco y del brazalete, aumentadas proporcionalmente a la relación de las secciones del frasco y del tubo.

Con un brazo de palanca de la aguja inscriptora de 20 centímetros, y una relación de sección del tubo y del frasco de diez, se consigue aumentar la amplitud de la inscripción doscientas veces.

Aplicando el brazalete del instrumento sobre una arteria y comunicando a todo el conjunto una presión creciente, se observa, como en los oscilómetros y esfigmomanómetros, que la aguja y la columna de mercurio, a medida que crece la presión, oscilan con mayor amplitud, hasta llegar a un máximun; si se sigue aumentando la presión paulatinamente, la aguja oscila menos, hasta que termina por no mostrar ningún movimiento cuando la presión llega a ser considerable. En los esfigmomanómetros esta vibración es muy poco perceptible, debido a que apenas llega a fracciones de milímetros cuando es máxima. En cambio, en los oscilómetros es muy aparente. Sin embargo, tenemos que criticar que con estos insturmentos no puede observarse bien la mínima o vibración inicial, porque por el dispositivo mecánico que les han dado los constructores, solamente cuando la aguja está oscilando al máximun una segunda palanca amplificadora, pone de manifiesto la oscilación. Con este dispositivo, solo se puede apreciar muy bien la vibración correspondiente a la presión media.

El manómetro de Kretz, provisto de estilete inscriptor, permite no sólo medir la presión mínima, para la cual la aguja principia a oscilar, sino que nos da a conocer los valores exactos de la presión, por la altura de la columna de mercurio. Al mismo tiempo la vibración se inscribe en un cilindro animado de un movimiento uniforme de rotación.

La variación de la amplitud podemos explicarla de la manera siguiente:

Al iniciar la presión, el brazalete comprime la arteria, y en el momento en que principia a hacerse sensible la vibración al través del aire del mango compresor, la aguja acusa una mínima oscilación. Este valor corresponde a la presión hemostática de la sangre que llena el vaso, abstracción hecha de toda otra presión. Por término medio, el valor mínimo así determinado es de 10 a 25 mm.

Si se va aumentado poco a poco la presión, el manómetro nos indica, a cada instante su valor, hasta llegar al momento

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

en que la aguja ya no indica ninguna oscilación por ser la presión suficiente, no sólo para anular la vibración, sino para impedir el paso de la sangre. Esta presión máxima límite, no es posible valorarla exactamente con los aparatos clínicos, debido a su poco poder amplificador.

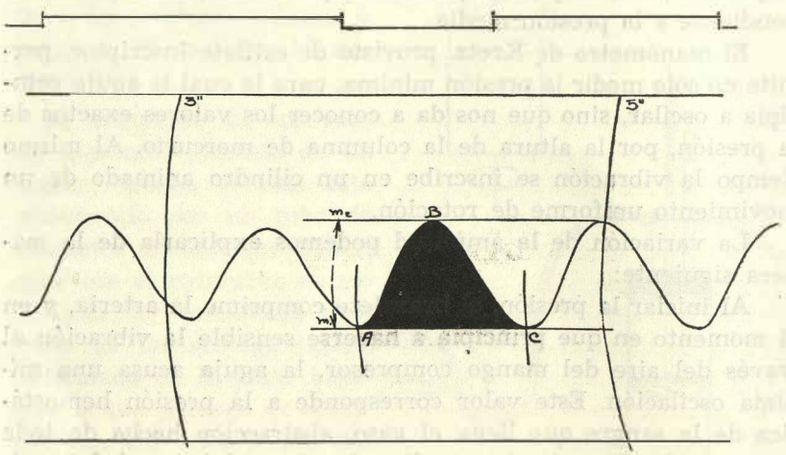
Los valores numéricos que se obtienen son bastante superiores a los que marcan los esfignomanómetros, esfigmógrafos y oscilómetros.

Por vía de ilustración vamos a mostrar un caso concreto:

DOCTOR R. C.

	Manómetro de Kretz.	Esfignómano metro.	Oscilómetro
Máxima	188 mm	134 mm	
Media	103 mm	101 mm	102 mm
Mínima	18 mm	68 mm	

Al palpar una arteria en actividad se percibe distintamente la vibración, cuando el dedo ejerce una presión conveniente; esta es la presión media que corresponde a la tensión arterial media. Si se va aumentando la presión del dedo hasta comprimir completamente el vaso, la vibración desaparece; si poco a poco, se va disminuyendo la presión, vuelve a percibirse, cada vez con mayor nitidez, y si se continúa disminuyendo la presión, llega



I.S.R
N°205
IV/36

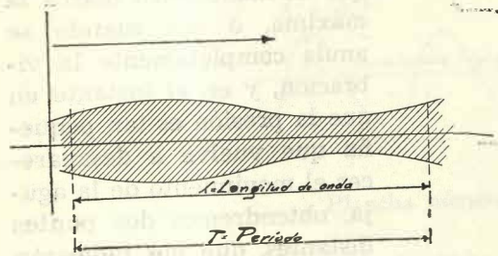
Presión máxima 160 m.m
Presión media 90 m.m.
Presión mínima 20 m.m.
$m_1 m_2$ 0,088 m.m.

Plancha número 3

un momento, en que existiendo cierta presión del dedo, la vibración no se percibe. Estos dos valores extremos son los que se llaman en Física máxima y mínima y corresponden a los valores de tensión arterial máxima y tensión arterial mínima.

Al mismo tiempo que podemos medir las presiones, podemos también inscribir la vibración. Se obtienen curvas regulares, con dicrotismo, si se emplea la cápsula de Marey, y sin éste si se verifica con el manómetro que ya hemos descrito. La forma de la curva, más o menos modificada por el instrumento, no nos interesa por ahora, sino saber que es una curva periódica sinusoidal. (Véase plancha número 3). I. S. R.

Debido a la naturaleza viva de las arterias, el movimiento especial de éstas, no puede regularse por los mismos principios que gobiernan el movimiento de los líquidos en tubos rígidos o elásticos, porque la arteria, en toda parte de ella, interviene de manera directa en el mecanismo de su movimiento. El vaso en actividad, no es un tubo que se distiende en toda su longitud, simultáneamente, a cada impulso del corazón, sino sucesivamente, y afecta en una porción cualquiera de su longitud, la forma y sección de la figura que vamos a proyectar: (Véase plancha N° 4).



$V = \frac{1}{Ve}\sqrt{\frac{H-h}{2}\cdot\Delta}$

$\lambda = V.T$

$\lambda = \frac{T}{Ve}\sqrt{\frac{H-h}{2}\Delta}$

V = 38 cms. por segundo

λ = 15 cms.

Plancha número 4

La vibración en un punto cualquiera, es una ondulación transversal, semejante al movimiento de las cuerdas sonoras. Cada porción de la arteria, ejecuta el mismo movimiento, sucesivamente, pero el instante en que esto ocurre, depende de la velocidad con que se propagan las ondulaciones de la pared arterial. Esta sucesiva oscilación se denomina *onda*, y la distancia entre dos partículas vecinas que se encuentran en la misma fase, se denomina *longitud de onda*. Las ondas vibratorias de las arterias son del tipo de las llama-

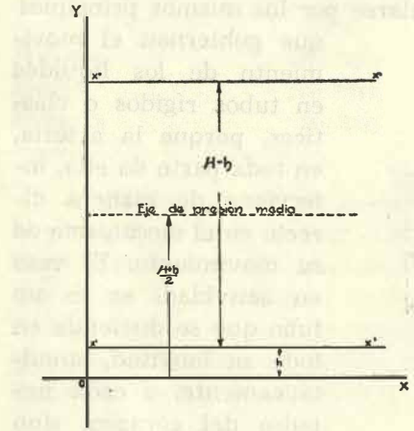
Universidad del Rosario | Archivo Histórico

das *ondas transversales,* porque el desplazamiento de las partes individuales es transversal con relación al desplazamiento de la onda.

Por esta razón se pueden inscribir en la forma que hemos explicado, y el trazo de la vibración arterial queda sobre el cilindro, como el ritmo propio de su función viva. Este fenómeno mesurable, nos suministra los elementos de trabajo suficientes para estudiar el fenómeno en el campo de la Física.

Vamos a poner un ejemplo geométrico para explicar mejor las nociones de máxima y de mínima de tensión arterial.

Si referimos a dos ejes de coordenadas y tomamos en el eje de las *ies* los valores de la presión en los momentos en que el manómetro marca la máxima, o sea cuando se anula completamente la vibración, y en el instante en que la presión es tan pequeña que vuelve a desaparecer el movimiento de la aguja, obtendremos dos puntos distantes, que nos indicarán la máxima y la mínima. (Véase plancha número 5).



Demostración geométrica de las presiones

Plancha número 5

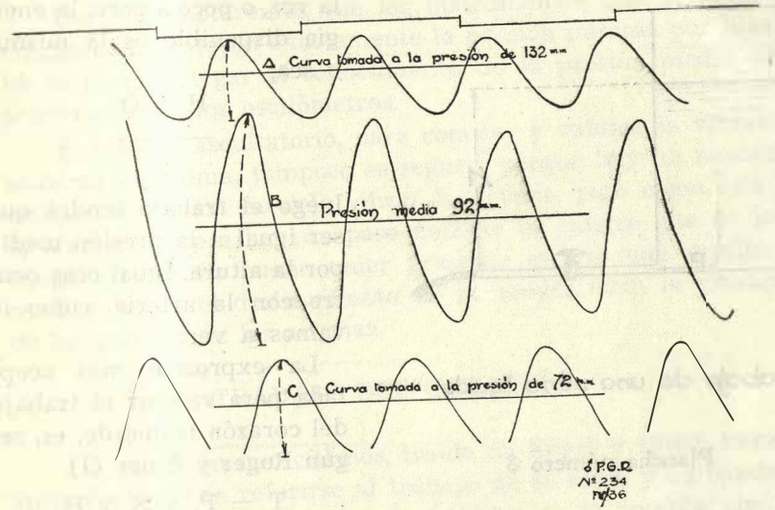
Luégo la presión media es igual a la semi-suma de las presiones máxima y mínima.

En toda medida de tensión arterial, si se toma la máxima y la mínima y se calcula la presión media como hemos dicho, se gradúa el aparato inyectando aire hasta que el manómetro marque el valor exacto de la presión media, si en estas condiciones se inscriben las oscilaciones de la aguja, éstas son máximas. (Véase plancha número 6).

Estas oscilaciones maximales, correspondientes a la tensión media, son independientes de las otras características de la vibración, como frecuencia, período y longitud de onda. (Véase plancha número 7).

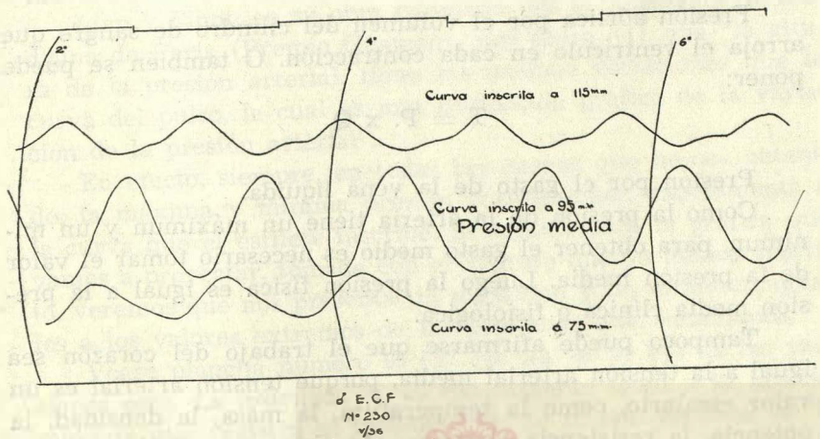
Las dos planchas que hemos visto y que se refieren a la oscilación máxima, nos demuestran suficientemente, que *ésta corresponde exactamente a la presión media física o matemática,* y como conclusión se impone que es la misma presión o tensión media clínica o fisiológica que se obtiene con los oscilómetros.

Efectivamente, para que la aguja oscile al máximun, se necesita que físicamente el instrumento, cualquiera que él sea, esté soportando una presión exactamente igual a la presión media.



Plancha número 6

Un ejemplo tomado de la hidrodinámica y una comparación con el trabajo del corazón izquierdo, ilustrará todavía más este punto.



Plancha número 7

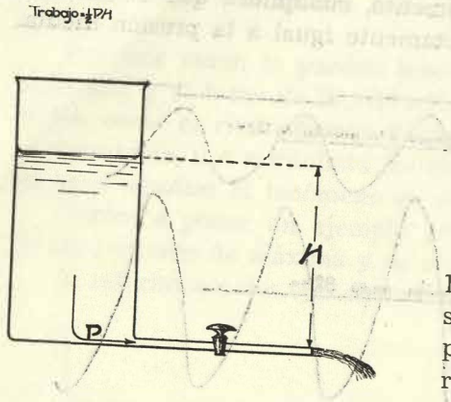
La energía potencial en reserva, de un depósito cilíndrico que contiene una masa de agua, hasta una altura H., se expre-

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

sa así: (Véase plancha número 8). La energía potencial de la capa superior es proporcional a H.; la de la capa inferior es cero. Por lo tanto, sea que el depósito se vacie de una sola vez, o poco a poco, la energía disponible es la misma, o sea,

$$\frac{H + O}{2}$$

luégo el trabajo tendrá que ser igual a la presión media por la altura. Igual cosa ocurre con la arteria, como lo vamos a ver:



Trabajo de una vena liquida

Plancha número 8

La expresión más aceptada para valorar el trabajo del corazón izquierdo, es, según Roger y Binet (1)

$$T = P. \times S. \times H.$$

Presión aórtica por la sección transversal de la misma por el desplazamiento de la masa de sangre.

Como S. x H. = volumen, la expresión arriba citada se puede escribir:

$$T = P. \times V.$$

Presión aórtica por el volumen del cilindro de sangre que arroja el ventrículo en cada contracción. O también se puede poner:

$$T = P. \times Q.$$

Presión por el gasto de la vena líquida.

Como la presión de la arteria tiene un máximun y un mínimun, para obtener el gasto medio es necesario tomar el valor de la presión media. Luégo la presión física es igual a la presión media clínica o fisiológica.

Tampoco puede afirmarse que el trabajo del corazón sea igual a la tensión arterial media, porque tensión arterial es un valor escalario, como la temperatura, la masa, la densidad, la potencia, la resistencia eléctrica, etc. Estas magnitudes que no pueden medirse sino designarse por un número, no son propias

(1) G. H. Roger y León Binet. Tomo VI, pág. 83.

para medir el fenómeno fisiológico. Es necesario sustituir la noción de tensión, por la de presión por unidad de superficie arterial.

De paso anotaremos que los instrumentos que se emplean en clínica no valoran exactamente la presión mínima por lo cual no es posible llegar al conocimiento de la presión media, sino solamente con los oscilómetros.

El método ascultatorio, para conocer y valorar la vibración máxima y mínima, tampoco es seguro, porque hay un momento en que la presión no deja vibrar la arteria, pero como ésta no se cierra, siempre hay un paso notable de sangre que no hace ningún ruido. Es bueno tener presente que lo que percibe el médico, no es el deslizamiento de la sangre, sino la vibración de las paredes de las arterias.

TRABAJO DEL CORAZON

La expresión que citamos, traída de Roger y Binet, tiene el inconveniente de referirse al trabajo de la aorta y en condiciones experimentales, difíciles de realizar en el hombre vivo.

Hemos intentado realizar un conjunto que nos permita conocer el valor del trabajo del corazón, en un punto cualquiera de una arteria, relacionando los valores de la presión arterial por unidad de superficie con la frecuencia o pulso y la amplitud del movimiento armónico.

Lian y Finot, en su obra coronada por la Academia de Medicina de París (Premio Guzmán), nos dicen (1) que "la altura de la presión arterial, tiene las mismas variaciones que la curva del pulso, la cual es una traducción gráfica de la variación de la presión arterial".

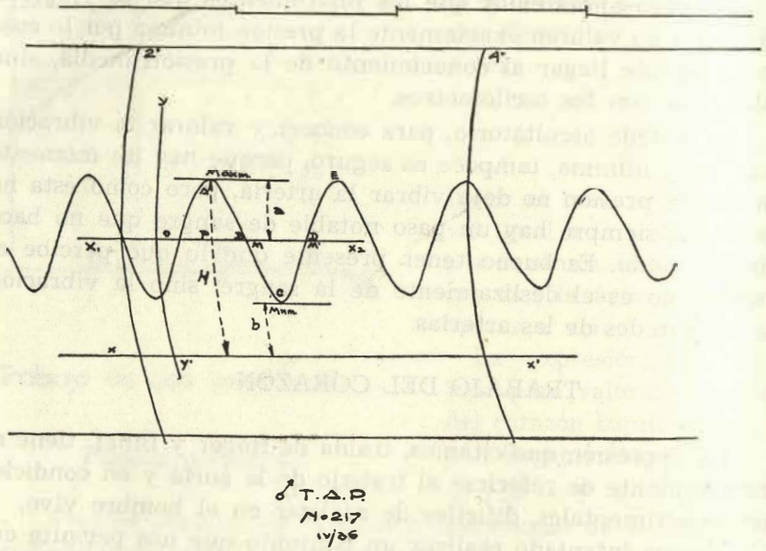
En efecto, siempre, en todas las curvas que hemos obtenido, la máxima y mínima presión corresponden exactamente a la curva que el estilete inscribe. Si examinamos la gráfica que vamos a proyectar, tomada con el aparato que ya hemos descrito, veremos que nos presenta un máximun y un mínimun iguales a los valores extremos de las presiones que estudiamos.

Véase plancha número 9. (El eje xx' es el eje de las presiones cero. La ordenada H. es exactamente igual a la presión máxima que registra el instrumento; lo mismo decimos de la ordenada h. que mide la presión mínima. Esto nos indica que la máxima y la mínima de la curva representan los mismos valo-

(1) L'Ipertension arterielle. Pág. 39.

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

res de las presiones de la arteria. Al graduar el instrumento a la presión media que corresponde al eje x_1 x_2, la aguja del instrumento oscila al máximun de amplitud e inscribe la curva de la figura que se proyecta).



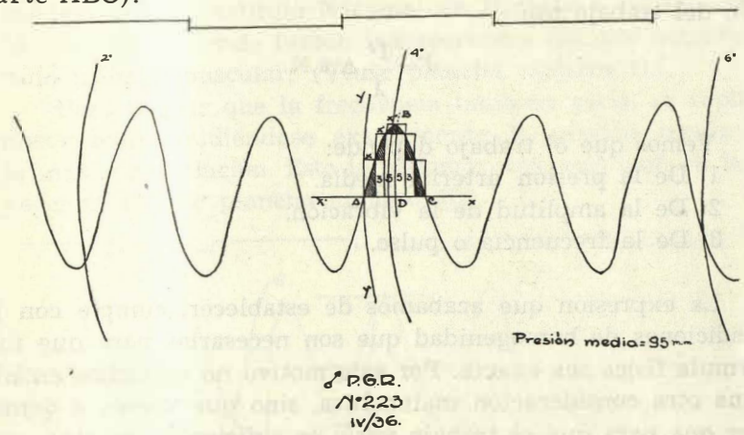
Plancha número 9

Representando exactamente la curva las variaciones de la presión arterial, podemos calcular el valor exacto de la presión arterial por unidad de superficie. Para esto consideremos un corte longitudinal de la pared de una arteria en actividad. La forma de la sección, será evidentemente la de la proyección. (Las partes sombreadas nos representan la ondulación de las paredes al rededor de una línea media de vibración. La porción ... corresponde a la distensión ocasionada por la impulsión del corazón; la parte siguiente ... corresponde a la contracción de la arteria. Ambos valores son iguales, pero contrarios y alternativos. Así las cosas, la vibración se repite a cada impulso, desde el corazón hasta los capilares).

Con esto sentado, y sin entrar en el detalle del cálculo, consideremos la gráfica que vamos a proyectar (Véase plancha número 10).

(El brazalete se gradúa a la presión media, representada por el eje xx'. La parte de la curva ABC. nos representa la variación de la presión que ejerce el corazón en una vibración. Esta superficie es absolutamente proporcional a la presión y varía, desde cero, pasa por un máximun, y vuelve a cero. Durante

este movimiento ha transcurrido un tiempo entre A . y C., luégo la variación de la presión corresponde al tiempo de media vibración, y como la distancia real entre dos vibraciones es lo que se llama longitud de onda, el problema se reduce a valorar el peso de la columna de mercurio correspondiente a la parte ABC).



Plancha número 10

(La superficie se puede valorar por exceso o por defecto, según se considere la superficie total de los rectángulos sin la parte sombreada o con ella; y haciendo infinitamente pequeñas las porciones de la recta AC podremos valorarla con la exactique se quiera).

Haciendo las operaciones de integración, nos resulta que la presión por unidad de superficie arterial tiene esta expresión:

$$\frac{(H-h)^2}{\lambda}$$

Se entiende por trabajo de una fuerza, el producto de ésta por el desplazamiento de su punto de aplicación. Con la expresión que acabamos de escribir se puede calcular el trabajo del corazón por unidad de superficie arterial, de la siguiente manera:

La fuerza está dada por la expresión,

$$f=\frac{(H-h)^2}{\lambda}\,\Delta=\frac{I^2}{\lambda}\,\Delta$$

el desalojamiento no es otra cosa sino la amplitud de la vibra-

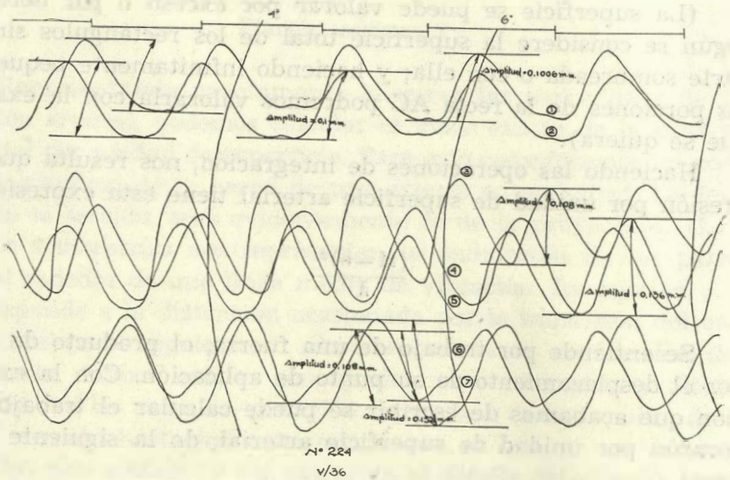
Universidad del Rosario | Archivo Histórico

ción, porque en cada una de éstas, se eleva la columna de mercurio que marca la presión media, a una altura igual a la amplitud de la vibración de la arteria. Y si consideramos el trabajo, no en una vibración, sino en un minuto, tendremos que multiplicar por el valor de la frecuencia. Entonces queda la expresión del trabajo así:

$$T = \frac{I^2}{\lambda} \Delta . a . N$$

Vemos que el trabajo depende:
1º De la presión arterial media.
2º De la amplitud de la vibración.
3º De la frecuencia o pulso.

La expresión que acabamos de establecer, cumple con las condiciones de homogenidad que son necesarias para que toda fórmula física sea exacta. Por este motivo no entramos en ninguna otra consideración matemática, sino que vamos a demostrar que para que el trabajo varíe es suficiente que uno cualquiera de los valores que figuran en la ecuación varíe.



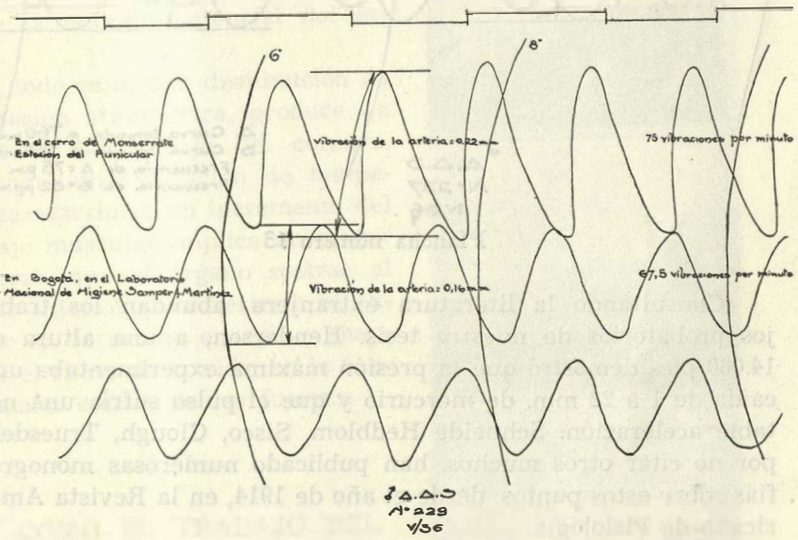
Plancha número 11

El doctor Gnecco Mozo ha demostrado que la presion media arterial, permanece constante a cualquier altura. Esta conclusión, que no discutimos sino que aceptamos, confirma de manera evidente que el trabajo del corazón aumenta con las alturas, como lo vamos a probar inmediatamente.

Si la amplitud de la vibración arterial aumenta, o la frecuencia crece con las alturas sobre el nivel del mar, forzosamente el valor del trabajo tiene que crecer, porque la presión arterial permanece constante.

Esto sentado, vamos a proyectar la gráfica tomada a dos médicos, en el Instituto Nacional de Higiene y en el cerro de Monserrate, a donde fueron transportados sin que hubieran tenido trabajo muscular. (Véase plancha número 11).

Para probar que la frecuencia también varía, se repitió la observación, midiéndose exactamente la presión media para la máxima oscilación. Esto lo podemos ver muy bien en la proyección. (Véase plancha número 12).



Plancha número 12

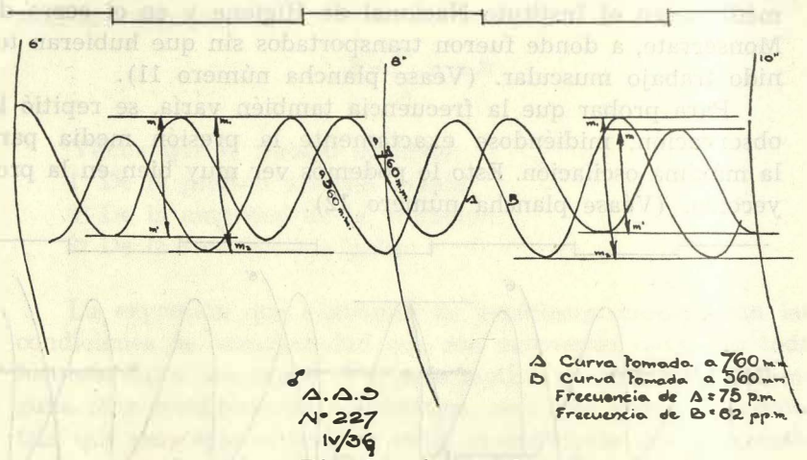
Sería una gran casualidad que cinco observaciones coincidieran para probar la tesis que sostenemos.

Como última prueba se proyectará en seguida la gráfica tomada al doctor A. A. S., provisto de una máscara para gases asfixiantes, sin las válvulas, para disminuir las resistencias. Se le hizo respirar la corriente de un compresor de aire saturado de humedad, a la presión de Bogotá y del nivel del mar respectivamente. En este estado se le tomaron las gráficas de la presión arterial y se notó que la frecuencia y amplitud crecían con la disminución de la presión. (Véase plancha número 13).

Desde el año de 1910 el doctor Juan N. Corpas, llamó la atención hacia el incremento que toma el pulso con las altu-

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

ras. El doctor Benigno Jiménez Peñuela, en su notable tesis de grado, demostró que por el método ortodiagráfico que no deja lugar a dudas, aumentadas las dimensiones medias del corazón, en individuos normales que viven en el altiplano andino.



Plancha número 13

Consultando la literatura extranjera, abundan los trabajos probatorios de nuestra tesis. Henderson, a una altura de 14.000 pies demostró que la presión máxima experimentaba una caída de 1 a 22 mm. de mercurio y que el pulso sufría una notable aceleración. Schneide Hedblom, Sisco, Clough, Truesdell, por no citar otros muchos, han publicado numerosas monografías sobre estos puntos, desde el año de 1914, en la Revista Americana de Fisiología.

El Instituto de Investigaciones Médicas del Ministerio del Aire del Reich, en Berlín, con instalaciones modernísimas, ha comprobado el efecto de las grandes alturas, sobre las pulsaciones, tensión arterial, aceleración, etc. Vamos a proyectar unos dispositivos tomados de fotografías de estos ensayos. (Periódico "La Semana"). Véanse figuras 14 y 15.

CONCLUSIONES

Al disminuir la presión de la atmósfera, decrece la masa de oxígeno por unidad de volumen, y como el corazón, para mantener constantes los cambios funcionales, debe transportar la misma cantidad de este gas a cualquier altura sobre el nivel del mar, forzoso es concluir en un aumento de trabajo. La

experiencia lo dice y lo confirma el cálculo. No solo hay un aumento en la amplitud de la vibración, o sea el diámetro de la onda pulsátil, sino en la frecuencia, que mide la velocidad de circulación de la corriente sanguínea.

Si el corazón se adapta a las nuevas condiciones, el individuo sigue viviendo normalmente, con su corazón aclimatado, lo cual no excluye el aumento o disminución que sufre la energía potencial del órgano.

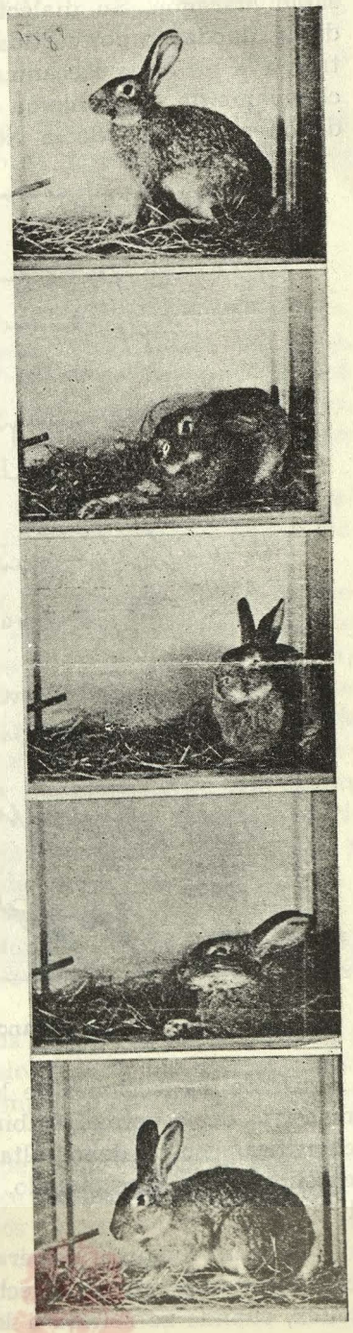
En todo caso, una disminución de la presión atmosférica, produce un aumento del trabajo del corazón, así como una variación de temperatura exterior o un incremento del trabajo muscular implica un mayor esfuerzo, que el órgano sustrae al medio interior para verterlo al exterior en forma de energía y mantener el ritmo de la vida, en la conservación eterna de las fuerzas.

— II —

DE COMO EL TRABAJO DEL CORAZON AUMENTA CON LAS ALTURAS

Fue nuestro intento agitar las ideas sobre el tema importantísimo del trabajo del corazón, en estas alturas, propicias al pensamiento, la benevolencia y la libre discusión de los hechos científicos, bajo el domo augusto de la Facultad de Medicina.

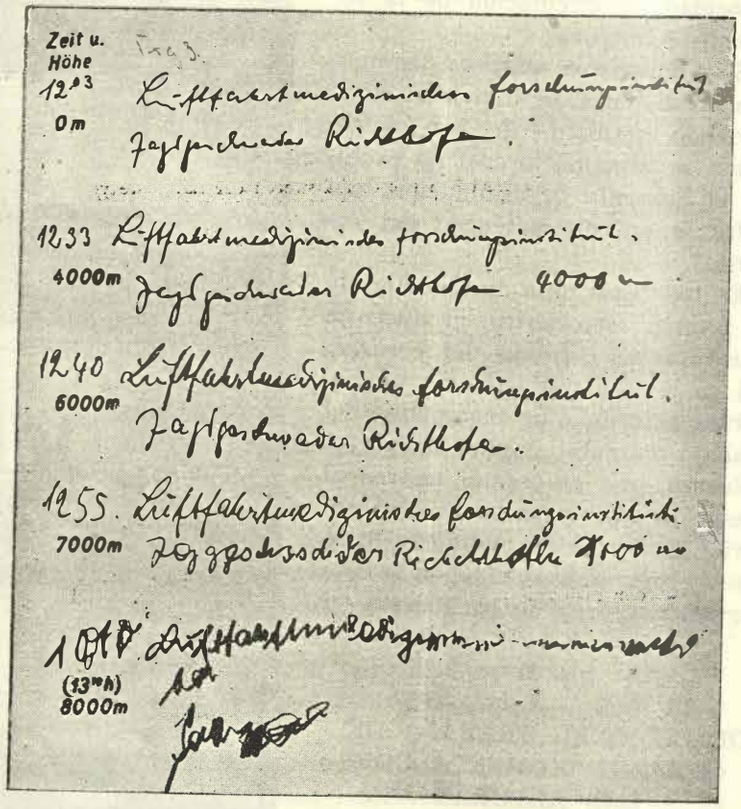
Nos hemos sentido honrados, al oir en este mismo recinto, la palabra luminosa y grave del doctor Gnecco Mozo, discípulo amado del



Plancha número 14

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

sabio Marañón. Su dialéctica no nos ha convencido, nuestras dudas quedaron convertidas en creencias, que vamos a demostrar, a la luz de la mecánica universal, a la cual corresponde exclusivamente el problema del trabajo del corazón, en las condiciones normales de la vida.



Plancha número 15

Desde las lecciones de letras y filosofía que nos dieran los maestros de la verdad, hubimos de aprender, que en cuestiones científicas, no se debe soltar la imaginación, sino sujetarla al entendimiento, aun cuando, entre nosotros bulla la lógica sentimental.

Hay un lenguaje impersonal que habla la ciencia, y en el cual debe expresarse el hecho tangible; se llama lógica Aristotélica, cuando se refiere a los fenómenos particulares, y matemáticas cuando simboliza las demostraciones directas.

Siguiendo estas ideas vamos a tocar algunos puntos a que se refirió en su exposición el doctor Genecco Mozo, y por último, haremos el ensayo de valorar el trabajo del corazón en Bogotá.

Apoyado en un silogismo, que el doctor Gnecco Mozo nos anunció de la más pura lógica, trató de demostrar que el corazón trabaja lo mismo en Bogotá y en París.

El silogismo fue el siguiente:

a). *La tensión media dinámica es igual al trabajo del corazón.* (Vaquez, Gomez, Lian, etc., etc.).
b). *La tensión media dinámica es igual en París y en Bogotá.* (Experiencia del doctor Gnecco Mozo).
c). *Luégo el trabajo del corazón es igual en París y en Bogotá.*

Lo perfecto de este silogismo es que no cumple con las condiciones que son necesarias para la expresión del raciocinio. *Peca por la base, porque la mayor es falsa.*

A excepción del doctro Gnecco Mozo, nadie puede demostrar que la tensión arterial (*valor escalario*) sea igual al trabajo del corazón (*Producto de una fuerza por un recorrido*) porque estas dos, no son expresiones homogéneas. Son cantidades que tienen proporcionalidad entre sí, como la superficie de un volumen, como la altura de la columna de mercurio del termómetro, a la cantidad de calor que lo dilata, pero no podemos, bajo ningún concepto, decir o afirmar que son iguales. Las cifras que miden un término, son indeformables, inmutables y eternas, en el sentido matemático de la expresión.

Podemos concluir que el argumento Gnecconiano es falso.

Decir que la *presión media dinámica,* valora el trabajo del corazón, es exacto, pero no lo es, sostener que el trabajo sea igual a la *tensión* media.

Vamos a demostrar la diferencia que existe entre *tensión* y presión arterial, a la luz de la fisiología de las arterias, para dejar aclarado de una vez para siempre, punto de tanta importancia.

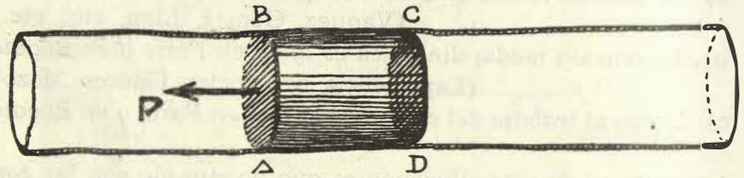
En la página 483 y siguientes del tomo VI, de la Fisiología de Roger y Binet, se fija el alcance de los términos *tensión* y *presión.* Allí se puede leer: "Son dos valores diferentes. La *presión sanguínea* engendra la *tensión* de las paredes de la arteria; la presión es la fuerza que ejerce la sangre, sobre cada centímetro cuadrado de pared, normalmente a ella, mientras que la tensión arterial es la fuerza, que siendo tangente a la superficie,

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

teinde a romper o rasgar la túnica arterial". A renglón seguido continúa así: "El problema de las tensiones arteriales, necesita un estudio de mecánica biológica, más complejo que el de la presión arterial y mucho más difícil de experimentación".

La expresión del trabajo del corazón izquierdo traída de Roger y Binet y que citamos en nuestra pasada conferencia, se refiere a la presión de la aorta, en un sitio inmediato al corazón.

Vamos a poner un ejemplo para aclarar las ideas. (Véase plancha número 16). Consideremos en una arteria en actividad



Presión

Plancha número 16

una masa de sangre ABCD, en un momento cualquiera. Para calcular el trabajo del corazón en una onda sanguínea (1) si P. es la presión ejercida en cada unidad de superficie, el valor del trabajo se obtiene, por el producto de la presión P. por la superficie de la sección AB. Pero como en el momento de cada sistole, la onda sanguínea, ocupa la longitud AD., es decir, ha recorrido el camino L., es necesario valorar la acción de la fuerza, en la sección y a lo largo del trayecto. El valor del trabajo, será evidente:

$$T = P. \times S. \times L.$$

o sea:

$$T = P. \times V.$$

Trabajo igual a presión aórtica media, por el volumen de la masa de sangre que arroja el corazón en cada sístole.

A este valor será necesario agregar, el de la fuerza viva, que adquiere la sangre en movimiento. La experimentación relativa fisiológica, indica que el valor de la fuerza viva es muy pequeño, y, que por lo tanto, puede despreciarse.

Es de notar que esta fórmula, a pesar de estar consagrada

(1) Física Médica-Broca, pág. 109.

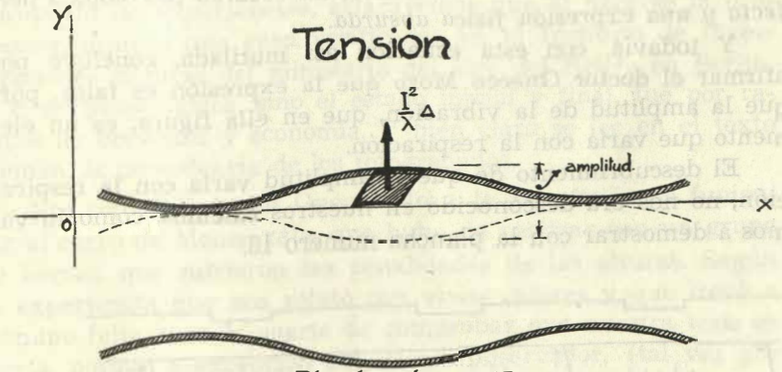
por los clásicos, no tiene en cuenta la naturaleza de las arterias, y sería exacta, exclusivamente en el caso de que las arterias fueran tubos rígidos.

Esta observación viene a colación a propósito del concepto que nos desliza el doctor Gnecco Mozo, en la página 74 de su obra, cuando nos encima lo siguiente:

"Para que los cálculos del doctor Barriga, fueran, pues, aplicables al trabajo del corazón, habría necesidad de probar que los capilares en Bogotá, son puros tubos de vidrio, y así y solo así podría aceptarse que el trabajo del corazón aumenta en la altiplanicie para asegurar la absorción del oxígeno, teoría matemática ingeniosa pero concepción fisiológica inadmisible".

No es posible para nosotros suposición tan simplista. Hemos sostenido que las arterias, por ser vivas, intervienen de manera directa, en el mecanismo de su función; tan exclusiva es su mecánica, que hasta la fecha, no ha podido reproducirse artificialmnete en los laboratorios el movimiento de los líquidos, tal como acontece en el sistema circulatorio de los seres superiores de la escala zoológica.

Sorprendamos por la imaginación, una porción longitudinal de la arteria, en plena actividad, tal como la esquematizamos en la plancha número 17.



Plancha número 17

Supongamos una superficie, tan pequeña como se quiera, ABCD. Representemos por el vector la presión lateral normal a la pared. El valor de esa presión como adelante lo veremos, es éste:

$$F = \frac{I^2}{\lambda}\Delta$$

Esta fuerza es distinta, en valor absoluto, a la presión en la

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

luz de la arteria y que figura en la ecuación de ltrabajo, que acabamos de demostrar (T = P. V.)

La fuerza $\frac{I^2}{\lambda}\Delta$ arrastra la pared de la arteria en cada vibración, hasta una distancia 2a., siendo a. la amplitud de la vibración. Por lo tanto, el trabajo por unidad de superficie será:

$$T = \frac{I^2}{\lambda}\Delta.a.N$$

siendo N. la frecuencia.

Esta expresión, que es la que hemos establecido, teniendo en cuenta: el movimiento armónico de la arteria, y la curva sinusoidad que resulta de su vibración, le pareció al doctor Gnecco Mozo, que podría simplificarse y cambiarse, según nos lo hizo en una demostración, sui-géneris, por esta otra:

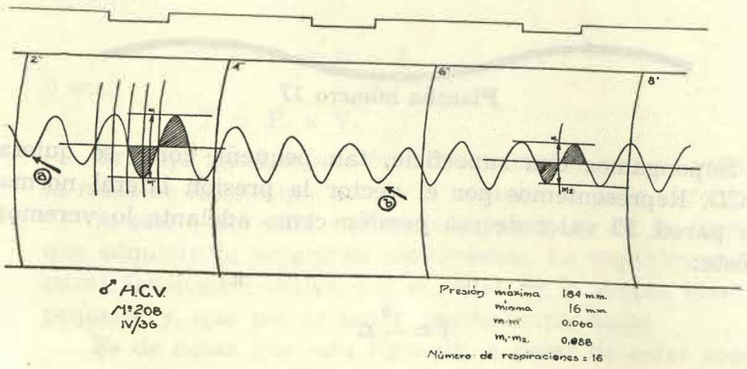
$$T = P.\ a.$$

Trabajo igual a presión aórtica en la luz de la arteria por la amplitud de la vibración.

Una tesis matemática inexacta, un recurso psicológico perfecto y una expresión física absurda.

Y todavía, con esta ecuación así mutilada, concluye por afirmar el doctor Gnecco Mozo que la expresión es falsa, porque la amplitud de la vibración, que en ella figura, es un elemento que varía con la respiración.

El descubrimiento de que la amplitud varía con la respiración, no nos era desconocido en nuestros cálculos, como lo vamos a demostrar con la plancha número 18.



Plancha número 18

La curva fue tomada en el mes de abril de este año al joven químico H. C., quien presenta nítidamente esta propiedad.

En la interpretación de las gráficas, justamente, se introduce esta corrección, y el valor de la amplitud, se toma por el promedio de las oscilaciones grandes y pequeñas. No de otra manera puede hacerse la valoración exacta de la tensión diferencial media, como adelante veremos.

La gráfica muestra una frecuencia de 100 vibraciones por minuto, y en ella corresponden dos vibraciones de amplitud mínima (a) y (b) en cuatro segundos o sea, 15 por minuto, que es próximamente el valor normal del número de respiraciones de nuestro químico.

La frecuencia que figura en la fórmula original, fue eliminada por el doctor Gnecco Mozo con la misma facilidad, como si se tratara de un simple cambio de nomenclatura, lo cual no puede aceptarse ni explicarse.

Sorprende la tendencia con que el ilustre conferencista, explicó la proyección de los diapositivos de un conejo, fotografiado a la presión de cero metros y de 10.000 sobre el nivel del mar. A propósito, del enorme trabajo que nos dijo el doctor, le había costado dar con la revista, de donde nosotros nos habíamos apropiado las experiencias, aclararemos que al hacerse la proyección dijimos que eran verificadas en el Instituto de investigaciones médicas del ministerio del aire del Reich, en Berlín. Y si no proyectamos, sino el estado inicial y final, fue por razones de brevedad y economía. Y bien claro se lee en el texto alemán, la procedencia de los fotograbados.

Nos refirió el doctor Gnecco Mozo, la expedición en funicular al cerro de Monserrate, que hubo de realizar con un grupo de héroes, que sufrieron las penalidades de las alturas. Según la experiencia que nos relató con vivos colores y que llevó a término feliz, tuvo la suerte de comprobar que nuestra tesis es cierta, porque a excepción del mismo observador, (tal vez por error personal) fue concluyente el número de pulsaciones.

El hecho de que se realice en toda experiencia semejante, el fenómeno del aumento en la fruencia, indica que el órgano propulsor, varía su trabajo; y el hecho más natural todavía, de que el corazón después de algún tiempo, vuelva más o menos a su ritmo normal, demuestra que éste incrementa la energía potencial de su sistema. Que se llame, *diámetros, ritmo, viscosidad, aumento de masa, tensión,* el hecho es real y mensurable.

En su exposición, el doctor Gnecco Mozo nos reprocha el que no hubiéramos explicado, si la medida nuéstra, se realizó

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

en la base o en la cima del cerro. Para aclarar este punto, vamos a proyectar la curva tomada a los dos médicos (Véase plancha número 11).

Como prueba de que sí aumenta el trabajo del corazón, y de que si es posible medirlo, vamos a explicar los fundamentos y la medida de esta magnitud.

En nuestra pasada exposición demostramos, cómo la presión media física, o presión media matemática, es exactamente igual a la presión media clínica, al menos en la presión que marcan los oscilómetros, en el momento de vibrar al máximun. Repetir cualquiera de las pruebas que expusimos, sería una necesidad, toda vez que están acordes los datos matemáticos con la medida directa del fenómeno y la constancia en el funcionamiento, bajo las mismas condiciones, es lo que se llama *la ley física.*

Jamás podrá atreverse a negar el doctor Gnecco Mozo que el valor medio, entre dos límites extremos, es igual a la semisuma matemática.

En los aparatos que se emplean en la clínica, es muy difícil apreciar el momento de la mínima, por lo cual este valor ha sido siempre condicional, y los autores no se han podido poner de acuerdo si se toma en el punto de la vibración mínima del oscilómetro, o cuando principia o termina, o cuando el ruido de la arteria cambia de tono, o cuando el gasto es máximo, etc. Toda esta imprecisión, ha sido la causa de las teorías más o menos alambicadas sobre tensión mínima.

En la página 18 de su obra, el doctor Gnecco Mozo dice:

"A. M. Barriga Villalba ha intentado últimamente comprobar también matemáticamente el valor de la media, llegando a la conclusión de que ésta es igual a la semisma de la máxima y la mínima, es decir, su conclusión ha sido el llegar al mismo punto ya de viejo conocido y muchas veces criticado por los clínicos, y bien acerbamente por Vaquez y sus discípulos, quienes insisten sobre que ni aún en el terreno fisiológico, concuerdan siempre la media matemática con la media clínica ni experimental".

Auncuando sean el Profesor Vaquez y sus discípulos los autores de este criterio, cabe observar que ellos se refieren a la *mínima clínica,* muy distinta de la *mínima física,* como hemos tenido ocasión de demostrarlo en la conferencia pasada.

El químico doctor Jorge Carulla, nuestro compañero en el Laboratorio de Higiene, nos ha hecho la traducción de las partes pertinentes del artículo a que se refieren las planchas 14 y 15, *sutilmente* comentadas por el doctor Gnecco Mozo.

"PRUEBAS SOBRE EL CORAZON Y RIÑONES

La navegación aérea no tiene solamente problemas técnicos que resolver, sino de orden médico, de capital importancia para el futuro desarrollo de los transportes aéreos. ¿De qué serviría el avión más rápido, si el hombre no puede soportar en los descensos y ascensos rápidos las presiones que se desarrollan? ¿Qué valor debe alcanzar la aceleración para que no aparezcan efectos fisiológicos o psicológicos desagradables? ¿Cómo se modifica la sensibilidad general en un medio enrarecido y en movimiento acelerado? Todas estas preguntas deben contestarse o resolverse ante la curva creciente que sigue el desarrollo de los transportes a gran velocidad.

Para esclarecer todos estos problemas, ha creado el Ministerio del Aire del Reich un Instituto especial de investigaciones médicas, equipado con los mejores aparatos y dotado con los fondos necesarios.

Para los ensayos de aceleración, hay un gran aparato que mide los cambios bruscos de velocidad. El cuerpo humano resiste una presión sobre su asiento de seis a siete veces su peso. Los efectos de esta acción se pueden notar en la aceleración y frenaje de un carruaje. Pero mucho más importante es para el aviador del porvenir, la influencia de grandes alturas. Para estudiar los efectos fisiológicos y psicológicos se podrían mandar expediciones a las altas montañas u organizar vuelos a grandes alturas, pero con las facilidades del laboratorio, se pueden verificar en tierra más económicamente.

Primeramente se veía que la enfermedad de altura se podía producir solamente por la falta de oxígeno, pero posteriores estudios han demostrado que la falta de oxígeno, produce efectos diferentes y más perjudiciales que los de la enfermedad de las alturas, y que los datos son completamente cambiados.

Apenas se estaba estudiando la enfermedad de las alturas y su previsión, se introdujo, para fines de investigación, la cama de vacío, que puede dar artificialmente las diferentes condiciones atmosféricas que se quieran experimentar.

Relativa a la fotografía de los conejos:

Un conejo vuela a 10.000 *metros de altura.*

Para la investigación de los efectos fisiológicos en condiciones anormales, los ensayos sobre animales, son de gran ayuda. Este conejo fue puesto en una cámara de aire enrarecido, hasta

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

una altura artificial de 10.000 metros. A los 5.000 metros, el animal entró en una especie de somnolencia, la cual aumentó a los 6.000 hasta casi dormirse completamente a los 10.000, pero sin perjudicar al organismo, porque al volver a inyectar oxígeno a la presión normal, el animal, al cabo de algunos minutos, se restableció por completo. La tendencia a dormirse es atribuída a la falta de oxígeno (Véase plancha número 14).

Relativa a la escritura:

Pruebas de escritura como testigos de la enfermedad de las alturas.

Los primeros síntomas de la enfermedad, no se diferencian mucho de una intoxicación alcohólica. La solución de problemas es muy difícil. La persona se da cuenta de su actividad. Las pruebas y ensayos de escritura indican a 7.000 metros un sensible cambio que indica el peligro" (Véase plancha número 15).

TRABAJO DEL CORAZON

Cualquiera que sea la cifra que mide el trabajo del corazón en una altura dada sobre el nivel del mar, es necesario tomarla sobre el valor de la presión del aire. Por lo tanto, no es posible, a distintas alturas, donde reinan diferentes presiones, la igualdad del trabajo de un órgano propulsor, sumergido en la atmósfera. Por otra parte, el corazón transporta el oxígeno, desde los alvéolos pulmonares, hasta la célula más apartada del organismo, y en este ciclo permanente de combustión y reducción, entretiene la vida, con los mismos caracteres químicos que lo hace el oxígeno en la llama de una bujía.

Valiéndonos de la absorción del oxígeno al nivel del pulmón, podemos calcular el incremento del trabajo del corazón a una altura dada sobre el nivel del mar.

Vamos a leer la cita que de nosotros hace el doctor Gnecco Mozo, en su obra "El trabajo del corazón en Bogotá", para de paso, aclarar una mala interpretación del autor. Dice así la cita que se refiere a nosotros: "La fijación del oxígeno es consecuencia de la diferencia de *tensión de este gas,* en el aire, con la *tensión* del medio interior (sangre venosa pulmonar). En virtud de esta diferencia, el oxígeno se disuelve en el medio interno; el funcionamiento del corazón impide el establecimiento del equilibrio, que vendría a ser proporcional a la presión atmosférica exterior. Así pues, el corazón realiza el trabajo,

para mantener en los capilares, la cantidad de oxígeno necesaria al funcionamiento correcto de la célula".

Y agrega el Dr. Gnecco Mozo: "Parte pues, el Dr. Barriga Villalba, para llegar a sus admirables cálculos matemáticos, de la base de que la absorción del oxígeno, por la sangre, depende de la *tensión arterial*, fundamento deleznable, que no hay para qué discutir", etc.

Se entiende en Física por tensión de un gas, la presión, la fuerza de expansión, que es la que caracteriza al estado gaseoso de los cuerpos. En este sentido, y no en otro, está tomada la expresión. El doctor Gnecco Mozo al confundir tensión arterial con la tensión del gas, interpreta de manera errónea nuestras ideas. Está muy claro que la tensión del gas oxígeno en la atmósfera del alvéolo pulmonar, y la tensión del ácido carbónico del plasma, son las que regulan el fenómeno de oxidación, que se verifica al nivel del pulmón.

Con esta aclaración conveniente y necesaria, sin entrar en los detalles del cálculo, basado rigurosamente en las leyes conocidas de solubilidad de los gases, podemos escribir la expresión final, que nos indica el trabajo del corazón, considerado en un individuo normal que viva en una estación cualquiera sobre el nivel del mar.

Esta expresión es la siguiente:

$$T = T_{76}\left(2 - \frac{H^1}{H} \cdot \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{D^1}}\right)$$

Esto quiere decir: El trabajo del corazón en una estación superior, es igual al trabajo del mismo corazón en el nivel del mar, aumentado en relación inversa de las presiones de la atmósfera y en relación directa de las raíces cuadradas de las densidades del aire.

Reemplazando en esta fórmula, las cifras de la presión atmosférica y de la densidad del aire, por ejemplo, en Bogotá y en Barranquilla, se tiene:

$$T_B = 1.14\, T_{76}$$

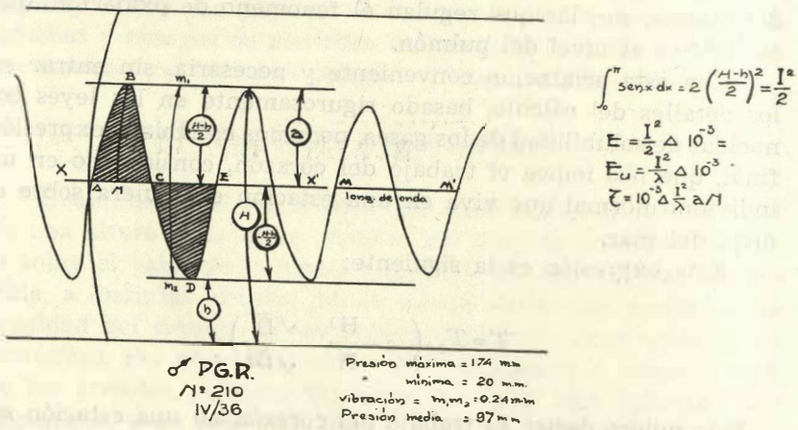
Esto significa, que el corazón en Bogotá, aumenta, después de su aclimatación, en un 14 por ciento su energía potencial; y el corazón de un individuo que baje del nivel de Bogotá al de Barranquilla o de Cartagena, descansa en un 14 por ciento de su trabajo total.

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

Mientras no se demuestre de manera matemática la inexactitud de esta expresión, quedará en pie esta afirmación concluyente.

Sentado que el corazón debe aumentar o disminuir su trabajo, para mantener el ritmo de la vida, vamos a calcular, con los datos de la presión media arterial, por unidad de superficie, el valor numérico del trabajo del corazón en un individuo normal.

No hemos intentado, ni lo podríamos hacer, explicar los fenómenos que ocurren en un órgano enfermo. Tampoco se nos ha pasado por la mente, invadir campos exclusivos de especialistas; tan solo es nuestro esfuerzo contribuir a la solución del problema de la física del corazón, con los datos que nos brinda la realidad.



$$\int_0^{\pi} \operatorname{sen} x\,dx = 2\left(\frac{H-h}{2}\right)^2 = \frac{I^2}{2}$$

$$E = \frac{I^2}{2}\,\Delta\,10^{-5} =$$

$$E_u = \frac{I^2}{\lambda}\,\Delta\,10^{-5}$$

$$\zeta = 10^{-5}\,\Delta\,\frac{I^2}{\lambda}\,a/1$$

Plancha número 19

Sea la curva de la plancha número 19. Consideremos la vibración ABCDE. La tensión arterial máxima está representada por la ordenada H.; la tensión mínima por la ordenada h. Con relación al eje xx' la presión media es $\frac{H + h}{2}$

La superficie de la porción de la curva ABC. es:

$$\int_0^{\pi} \operatorname{sen} x\,dx = 2\left(\frac{H+h}{2}\right)^2 = \frac{I^2}{2}$$

Considerando la unidad de profundidad, tendremos un volumen de sección igual a la superficie ABC, y como las tensiones se miden por las alturas de la columna de mercurio correspondientes a la máxima y a la mínima (H y h), si multiplicamos el volumen por la masa de la unidad de volumen, tendremos el peso total. Por esta razón, la expresión del peso de un sólido, que tenga por sección la curva ABC, y por profundidad un milímetro será:

$$E = \frac{I^2}{2}\,\Delta$$

Se llama longitud de onda, la distancia real M M'. Claro está que no puede ser la distancia medida sobre el papel de la gráfica, porque según se desarrolle más o menos rápidamente, la curva será más o menos alargada.

La longitud de onda se calcula por medio de la velocidad de propagación de las ondas arteriales. En todas las medidas que hemos tenido ocasión de hacer, la longitud de onda, varía con el sexo y la edad. El valor medio, oscila alrededor de 15 centímetros de longitud.

Así pues, en la realidad, la porción de arcada que consideramos tiene una longitud de 14,25 cms. y una altura de 0.24 mm.

Si dividimos el peso del volumen correspondiente a la superficie ABC. que hemos considerado, por la AC. o sea, la mitad de la longitud de onda, obtendremos la presión por unidad superficie arterial, o sea:

$$E = \frac{\frac{I^2}{2}}{\frac{\lambda}{2}}\,\Delta = \frac{I^2}{\lambda}\,\Delta$$

Esta expresión no es otra cosa sino la presión en gramos por unidad de superficie arterial.

Se entiende por trabajo de una fuerza, el producto de ésta por el desplazamiento de su punto de aplicación. Con la ecuación que hemos establecido, podemos calcular el trabajo del corazón, por unidad de superficie arterial, y con este dato, el valor total, en todo el árbol arterial.

La fuerza está dada por la presión por unidad de superficie arterial: $\frac{I^2\,\Delta}{\lambda}$

el desalojamiento, por el valor de la vibración en el punto considerado, que en este caso es igual a la amplitud de la vibración.

Universidad del Rosario | Archivo Histórico

Entonces, el trabajo del punto A. y de todos los más, correspondientes a la pared arterial, ejecutarán un trabajo equivalente al levantamiento, a la altura BN=a del peso $\frac{I^2}{\lambda}\Delta$

por lo tanto, la expresión del trabajo del corazón, en la porción de arteria que se considera, ser:

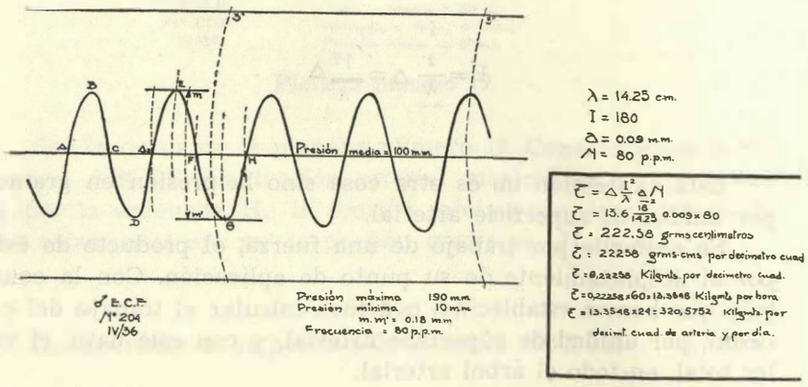
$$T = \Delta \frac{I^2}{\lambda}$$

Esto se realiza en cada vibración. Para obtener el trabajo por minuto, tendremos que multiplicar por el número de vibraciones en el minuto, o sea la frecuencia, y entonces la expresión queda:

$$\Gamma = \frac{I^2}{\lambda}\Delta \text{ a } N$$

Hemos establecido la expresión del trabajo. La fórmula cumple con la condición de homogenidad que se requiere para que la expresión física sea verdadera.

Ahora vamos a valorar el trabajo, conocidas las tensiones máxima y mínima, la frecuencia y la amplitud de la vibración. La gráfica corresponde al doctor E. C. F. Los datos son los siguientes:



λ = 14.25 c.m.
I = 180
Δ = 0.09 m.m.
N = 80 p.p.m.

$\Gamma = \Delta \frac{I^2}{\lambda} \Delta N$
$\Gamma = 13.6 \frac{18^2}{14.25} 0.009 \times 80$
$\Gamma = 222.58$ grms centimetros
$\Gamma = 22258$ grms-cms por decimetro cuad
$\Gamma = 0,22258$ Kilgmts. por decimetro cuad.
$\Gamma = 0,22258 \times 60 = 13.3548$ Kilgmts por hora
$\Gamma = 13.3548 \times 24 = 320,5752$ Kilgmts. por decim. cuad. de arteria y por d'a.

Plancha número 20

Vemos que es posible calcular el trabajo. La cifra de 320 kilogramos por día y por decímetro cuadrado de arteria, está

dentro de los límites aceptables para tal magnitud. Referida a la totalidad de la superficie arterial y hechas las consideraciones del decrecimiento de la presión a lo largo del árbol, se obtiene una cifra próxima de 30.000 kilogrametros diarios, cifra muy cercana de 29.000 kilogrametros, que es el dato más reciente encontrado por Roger y Binet sobre el trabajo del corazón, valorado en la aorta.

Conocida la tensión arterial media, se puede calcular, en función de ella, la velocidad de propagación de la sangre. Se obtiene la cifra media de 35 cms. por segundo, dato también acorde con las valoraciones indirectas que hasta la fecha se han llevado a efecto.

CONCLUSIONES

El trabajo del corazón en Bogotá, en un individuo normal, a la edad de 28 años, vale por día, y por decímetro cuadrado de superficie arterial 320,5 kilogrametros, en contra de 271, 6 kilogrametros que vale para el mismo corazón, en Barranquilla.

Las cifras que hemos obtenido en estos cálculos son susceptibles de fácil comprobación experimental.

Son una medida directa, deducida de los datos de la tensión arterial, y a la cual, cada día, se le descubren mayores relaciones en los fenómenos de hemodinámica que hemos tenido el honor de exponer a ustedes, señores Profesores y alumnos.

A. M. BARRIGA VILLALBA,
Colegial, doctor y Catedrático de Física y Química de este Colegio Mayor.

Universidad del Rosario | Archivo Histórico